

BEST AVAILABLE COPY

Apparatus and method for accurately controlling fuel injection flow rate**Patent number:** DE19727765**Publication date:** 1998-01-15**Inventor:** BOLIS DAVID A (US); OLSON DAVID A (US); WEBER GREGORY (US); HOLL STEPHEN M (US); MUSSER KEITH L (US); ROSS JAMES H (US); RUTH MICHAEL J (US); SEGER JEFFREY P (US); BEDAPUDI PRAKASH (US); WILHELM DANIEL D (US)**Applicant:** CUMMINS ENGINE CO INC (US)**Classification:**

- International: F02D41/30; F02M69/54

- european: F02D41/14B, F02D41/20, F02D41/24D2D, F02D41/38C2

Application number: DE19971027765 19970701**Priority number(s):** US19960674280 19960701**Also published as:**

US5771861 (A1)

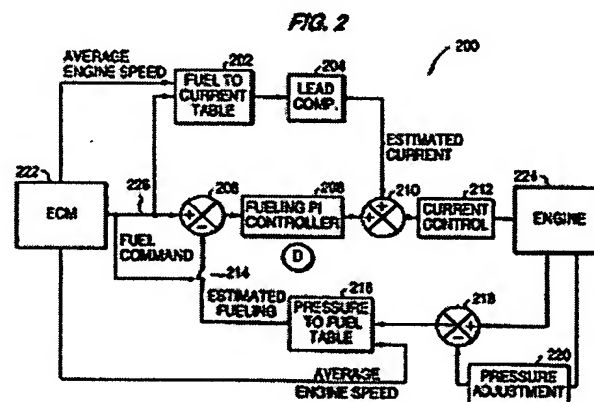
JP10068349 (A)

GB2314946 (A)

Abstract not available for DE19727765

Abstract of correspondent: **US5771861**

A system for controlling fuel flow in an internal combustion engine receives a command specifying a desired fuel flow rate from an electronic control module. The system generates a feedforward estimate of actuator current required to produce the desired flow rate. This estimate is combined with a fueling current offset value generated using a proportional-integral feedback controller. A differential pressure between the fuel rail and cylinder gas is converted, by surface interpolation based on a lookup table, to an estimate of actual fuel flow rate. The difference between this actual fuel flow rate and the desired flow rate is provided to the feedback controller as an error signal. The feedback controller preferably uses different gain values depending on an operating mode of the engine (speed control and torque control modes).



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)



⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 197 27 765 A 1

⑦ Int. Cl. 8:
F 02 D 41/30
F 02 M 69/54

⑳ Aktenzeichen: 197 27 765.9
㉑ Anmeldetag: 1. 7. 97
㉒ Offenlegungstag: 15. 1. 98

DE 197 27 765 A 1

③ Unionspriorität:

674280 01.07.96 US

⑦ Anmelder:

Cummins Engine Co., Inc., Columbus, Ind., US

⑦ Vertreter:

Patentanwälte Gesthuysen, von Rohr, Weidener,
Schüll, Häckel, 45128 Essen

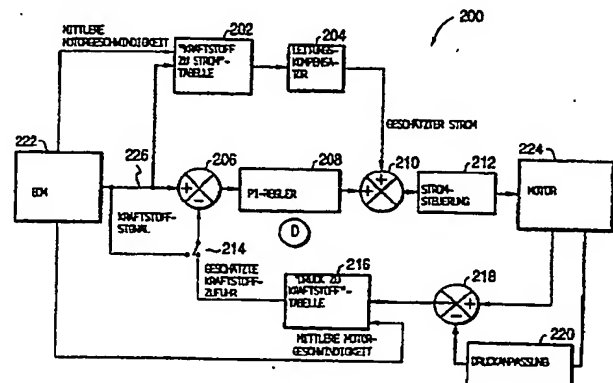
⑦ Erfinder:

Weber, Gregory, Rochester Hills, Mich., US; Ross,
James H., Cedar Falls, Ia., US; Ruth, Michael J.,
Franklin, Ind., US; Bedapudi, Prakash, Columbus,
Ind., US; Bolis, David A., Nashville, Ind., US; Holl,
Stephen M., Columbus, Ind., US; Musser, Keith L.,
Columbus, Ind., US; Wilhelm, Daniel D., Nashville,
Ind., US; Olson, David A., Columbus, Ind., US;
Seeger, Jeffrey P., Columbus, Ind., US

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤ Vorrichtung und Verfahren zur genauen Steuerung der Kraftstoffeinspritzmenge

⑤ Es wird ein System zur Steuerung der Kraftstoffzuführung bei einem Innenverbrennungsmotor vorgeschlagen, wobei das System ein eine gewünschte Kraftstoffflußrate spezifizierendes Signal von einem elektronischen Steuermodul erhält. Das System erzeugt eine mitgekoppelte Schätzung eines einem Betätigungsorgan zuzuführenden Stroms, der erforderlich ist, um die gewünschte Flußrate zu erreichen. Diese Schätzung wird mit einem Kraftstoffzuführungsstrom-Abweichungswert kombiniert, der unter Verwendung eines PI-Reglers erzeugt wird. Zur Schätzung der aktuellen Kraftstoffflußrate wird der Differenzdruck zwischen dem Leitungsdruck und dem Zylindergas durch Flächeninterpolation basierend auf einer Nachschlagtabelle bestimmt. Die Differenz zwischen der aktuellen Kraftstoffflußrate und der gewünschten Flußrate wird dem rückgekoppelten Regler als Fehlersignal zugeführt. Der rückgekoppelte Regler verwendet vorzugsweise verschiedene Verstärkungen in Abhängigkeit von dem Betriebsmodus des Motors bzw. von einem Geschwindigkeitssteuermodus und einem Drehmomentsteuermodus.



DE 197 27 765 A 1

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Steuerung des Kraftstoffflusses bei einem Innenverbrennungsmotor. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung ein Kraftstoffsteuersystem, das mit existierenden Motorsteuerarchitekturen vereinbar ist und das Kraftstoffeinspritzvolumen unter Verwendung einer Verstärkungsumschaltung steuert, um eine stabile und dennoch gut ansprechende Steuerung bzw. Regelung des Kraftstoffflusses zur Verfügung zu stellen.

Generell sind Innenverbrennungsmotoren mit Kraftstoffeinspritzvorrichtungen gut bekannt. Bei solchen Motoren sind die genaue Menge an einzuspritzendem Kraftstoff und das Timing bzw. die Zeitpunkteinstellung für die Kraftstoffeinspritzung bezüglich der Position der Motorkolben entscheidende Bestimmungsgrößen bei der Steuerung jedes Kraftstoffeinspritzsystems. Folglich ist es wichtig, die Zeitpunkteinstellung der Kraftstoffeinspritzung zu steuern. Es ist entsprechend wichtig, die Menge an eingespritztem Kraftstoff genau zu steuern. Die vorliegende Erfindung sieht ein neues Verfahren und eine neue Vorrichtung zur Steuerung der Menge an Kraftstoff, die in jeden Zylinder eingespritzt wird, vor.

Viele konventionelle Steuersysteme für elektrische Kraftstoffinjektoren schalten den Kraftstoffinjektor an und aus durch Beaufschlagung desselben mit elektrischen Pulsen, die eine vorbestimmte Pulsbreite aufweisen. Bei solchen Systemen wird die Pulsbreite auf der Basis der Motorrotationsgeschwindigkeit, des Einlaßkrümmerdrucks, der Kraftstofftemperatur und anderer Parameter des Motorzustands bestimmt. Die bestimmte Pulsbreite korrespondiert zu der exakten Menge an Kraftstoff, die für den unter den detektierten Bedingungen arbeitenden Motor erforderlich ist. Solche Systeme können Gleichungen verwenden oder Ziel- bzw. Sollwerte in einer Nachschlagetabelle benutzen, die die Motorsignale in projizierte Kraftstoffeinspritzantriebsdaten übersetzt. Eine Rückkopplung wird dann dadurch bereitgestellt, daß die projizierten Kraftstoffeinspritzdaten mit den aktuellen Kraftstoffeinspritzdaten verglichen werden, um eine Anpassung der Kraftstoffzuführung zu unterstützen, um den Kraftstoffbedarf des Motors zu decken. Mit der Zeit ändern eine Verschlechterung und Abnutzung die Kraftstoffbedarfeigenschaften des Motors. Bei einem gegebenen Satz von Betriebsbedingungen kann daher eine größere oder kleinere Menge an Kraftstoff als diejenige erforderlich sein, die unter identischen Bedingungen erforderlich ist, wenn der Motor neu ist. Außerdem können eine Abnutzung des Kraftstoff-(Zuführ)-Systems und sich verschlechternde Komponenten die Menge an bei einer bestimmten Kraftstoffinjektoreinstellung zugeführtem Kraftstoff ändern. Daher gestattet eine rückgekoppelte Steuerung bzw. Regelung des Kraftstoffinjektorsteuersystems diese Änderungen im Echtzeitbetrieb bzw. Echtzeitmodus zu kompensieren.

Ein derartiges Kraftstoffzuführsystem, das eine rückgekoppelte Steuerung verwendet, ist in der US-A-5,237,975 offenbart. Systeme dieser Art steuern die Menge an den Zylindern zugeführtem Kraftstoff primär durch Variierung der Zeitpunkteinstellung der Injektorbetätigung. Die Druckschrift offenbart weiter ein rückgekoppeltes Steuerverfahren zur Beibehaltung eines konstanten Ziel- bzw. Solldruckes in der zu den Injektoren führenden Kraftstoffleitung. Dieses Steuerverfahren paßt tatsächlich den aktuellen Differenzdruck zwischen dem Eingangskrümmen und der Kraftstoff(sammel)leitung auf einen gewünschten Differenzdruck an, wodurch ein konsistenter Kraftstoffleitungsdruck beibehalten wird.

Die Anmelderin hat ein Druck-Zeit-(PT)-Kraftstoffeinspritzsystem entwickelt, das den Kraftstoffleitungsdruck ändert, um die Menge an in die Dosierkammer des Injektors dosiertem Kraftstoff zu steuern. Die Zeitpunkteinstellung bzw. das Timing des Öffnens eines Einlaßkanals zu der Injektordosierkammer wird durch die Bewegung eines Injektorplungerkolbens gesteuert. Diese zeitliche Steuerung des Öffnens beeinflusst die Menge an dosiertem bzw. zugemessenem Kraftstoff jedoch nur sekundär. Der Druck in der Kraftstoffleitung ist die primäre Bestimmungsgröße für die Menge an eingespritztem Kraftstoff.

Bei Systemen dieses Typs wurde erkannt, daß eine rückgekoppelte Steuerung des Kraftstoffflusses zu den Kraftstoffinjektoren unter Verwendung des gewünschten Kraftstoffleitungsdrucks als Ziel- bzw. Sollgröße viele Nachteile aufweist. Erstens wird der Fluß an Kraftstoff in die Leitung durch ein Betätigungsorgan, wie ein Magnetventil, ausgegebene Signale gesteuert. Jedes Betätigungsorgan hat, wenn es in einen Motor eingebaut ist, etwas unterschiedliche funktionale Eigenschaften aufgrund von Variationen in dem durch Betätigungsspulen erzeugten Feld und aufgrund anderer durch Herstellungstoleranzen bedingter Variationen. So wird eine gleiche, zwei verschiedenen Betätigungsorganen zugeführte Menge an Strom generell zu verschiedenen Mengen an eingespritztem Kraftstoff führen. Daher kann eine von der Rückkopplungsschleife durch Vergleich des aktuellen Differenzdrucks mit dem gewünschten Differenzdruck bestimmte Abweichung in Abhängigkeit vom Betätigungsorgan variieren.

Es wurde auch festgestellt, daß eine druckabhängige Steuerung extrem empfindlich für Änderungen des Betätigungsorgans ist, da der Druck nichtlinear mit dem dem Betätigungsorgan zugeführten elektronischen Kraftstoffsteuersignal zusammenhängt. Dieser nichtlineare Zusammenhang resultiert darin, daß der Betrieb einer Kraftstoffsteuereinheit mit geschlossenem Regelkreis von den sich ändernden Druckmessungen abhängig ist, wodurch eine instabile Kraftstoffsteuerung bei Druckänderungen verursacht wird. Die Verwendung der Drucksteuerung erfordert auch zwei Umwandlungstabellen. Der vorausgesagte Kraftstofffluß muß in einen Druckwert umgewandelt werden, um die Druckvergleiche zur Steuerung ausführen zu können, und der Druckwert muß dann in einen elektrischen Strom konvertiert werden, um die Kraftstoffsteuereinheit zu betätigen bzw. ein Betätigungsorgan anzusteuern. Da die Kombination dieser Abbildungen für stabile Verstärkungsfestlegungen linear sein muß, müssen die Umwandlungen zusammen sorgfältig kalibriert werden, damit ein linearer Zusammenhang erhalten wird. Wenn die Kalibrierung die zwei Abbildungen nicht richtig harmonisiert, wird ein fehlerhaftes Verhalten resultieren und die Geschwindigkeitsstabilität kann nachteilig beeinflusst werden. Daher wurde festgestellt, daß bei solchen Systemen ein Bedarf für ein neues Kraftstoffsterverfahren basierend auf einem Kraftstoffsteuersignal, das linearer von einer Steuervariablen, wie der Menge an eingespritztem Kraftstoff, abhängt, besteht.

Bei aus dem Stand der Technik bekannten Kraftstoffsteuersystemen werden generell entweder die Motorgeschwindigkeit oder eine Gaspedalstellung (ein Drehmoment) zur Bestimmung des gewünschten Kraftstoffeinspritzvolumens verwendet. Wenn die Kraftstoffzuführung unter Verwendung der Motorgeschwindigkeit gesteuert wird, muß die Druckrückkopplungssteuereinheit eine niedrige Verstärkung aufweisen, da sonst die Rückkopplungsschleife destabilisiert werden wird und die Geschwindigkeitsstabilität nachteilig beeinflusst werden kann. Wenn die Verstärkung jedoch zu niedrig ist, spricht das Kraftstoffsteuersystem nicht genau auf Änderungen bzw. Übergänge an. Dementsprechend wurde festgestellt, daß ein Bedarf für eine Steuereinheit besteht, die angepaßte Verstärkungslevel sowohl für einen Geschwindigkeitssteuermodus als auch für einen Drehmomentsteuermodus zur Verfügung stellen kann.

Allgemein ausgedrückt besteht offensichtlich ein Bedarf an einem Kraftstoffsteuersystem, das eine stabile, effektiv rückgekoppelte Steuerung des Druckes in der Kraftstoffleitung bereitstellt, um dadurch die Rate der Kraftstoffeinspritzung bzw. die Kraftstoffeinspritzmenge zu steuern. Weiter besteht ein Bedarf an einem Kraftstoffsteuersystem, das zwischen die Verstärkung bestimmenden Modi umschalten kann, um eine stabilere und robustere Kraftstoffsteuerung zu erhalten.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein verbessertes Kraftstoffflußsteuersystem und Verfahren bereitzustellen, die die vorgenannten Nachteile des Standes der Technik vermeiden und eine stabile, dennoch gut ansprechende Steuerung der Kraftstoffzuführung ermöglichen, wobei die Steuerung insbesondere mit üblichen, bei einer Vielzahl von Innenverbrennungsmotoren eingesetzten Steueraufbauten kompatibel und gegenüber Abweichungen der Betriebseigenschaften von Betätigungsorganen und des Motors tolerant ist.

Die vorgenannte Aufgabe wird durch ein Kraftstoffsteuersystem gemäß Anspruch 1 bzw. ein Verfahren gemäß Anspruch 2 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

Vorzugsweise detektiert ein elektronisches Steuermodul (ECM) eines Motors Motorbetriebsparameter, wie die Motorgeschwindigkeit, eine Stellung des Gaspedals, die Temperatur u. dgl., um eine gewünschte Kraftstoffflußrate bzw. Kraftstoffeinspritzmenge bei herrschenden Betriebsbedingungen zu bestimmen. Das Signal für die gewünschte Kraftstoffzufuhr wird dann in einen Schätzwert des einem Betätigungsorgan zuzuführenden Stroms unter Verwendung einer "Kraftstoff zu Strom"-Tabelle in einer mitgekoppelten Anordnung bzw. Steuerung umgewandelt.

Der Betätigungsstrom steuert das Betätigungsorgan bzw. ein Betätigungssteuerventil, um die gewünschte Menge an Kraftstoff in eine Kraftstoff(sammel)leitung einzuspritzen bzw. einströmen zu lassen. Der angelegte Betätigungsstrom wird weiter unter Verwendung eines Proportional-Integral-Reglers (PI-Reglers) bzw. einer proportional und integral rückgekoppelten Kraftstoffsteuereinheit angepaßt, dessen bzw. deren Ausgangssignal mit dem mitgekoppelten Schätzwert kombiniert wird, um das gewünschte Kraftstoffflußratenziel bzw. den gewünschten Kraftstoffflußratensollwert zu erreichen. Der Differenzdruck zwischen der Kraftstoff(sammel)leitung und einem Ansaug- bzw. Einlaßkrümmer wird erfaßt und in einen korrespondierenden, detektierten Kraftstoffflußwert unter Verwendung einer in der ECM gespeicherten "Druck zu Kraftstofffluß"-Nachschlagetabelle konvertiert. Ein Komparator bestimmt die Differenz zwischen dem detektierten Kraftstoffflußwert und dem gewünschten Kraftstofffluß, und diese Differenz wird als ein Fehlersignal dem PI-Regler zugeführt. Der PI-Regler erzeugt ein Korrekturstromsignal, das mit dem geschätzten Stromsignal (von der mitgekoppelten Schaltung) kombiniert wird, um das Betätigungsorgan zu steuern bzw. anzusteuern. Die rückgekoppelte Steuereinheit bzw. der PI-Regler schaltet vorzugsweise zwischen zumindest zwei verschiedenen Verstärkungsfestlegungsmoden um, wobei ein Modus einen aggressiven Satz von Verstärkungsfaktoren und der andere Modus einen weniger aggressiven Satz von Verstärkungsfaktoren aufweist. Vorzugsweise wird die höhere Verstärkung verwendet, wenn das Kraftstoffflußsteuersystem das Drehmoment verwendet, um den Motorbetrieb zu steuern, und der weniger aggressive Modus wird verwendet, wenn die Motorgeschwindigkeit als Basis zur Steuerung des Motors dient.

Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung liegt darin, daß ein verbessertes Kraftstoffflußsteuersystem zur Verfügung gestellt wird, das eine rückgekoppelte Steuerung einer Rate der Kraftstoffeinspritzung in den Zylindern vorsieht, um eine Ziel- bzw. Sollrate zu erreichen.

Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung liegt darin, daß ein Kraftstoffflußsteuersystem bereitgestellt wird, das verschiedene Verstärkungsfaktoren für verschiedene Modi des Motorbetriebs vorsieht, wobei insbesondere eine relativ niedrige Verstärkung bei einem Geschwindigkeitssteuermodus und eine aggressivere bzw. höhere Verstärkung bei einem Drehmomentsteuermodus vorgesehen ist. Vorzugsweise werden dementsprechend sowohl die den integralen Anteil und/oder die den proportionalen Anteil betreffende Verstärkung bei einem PI-Regler im Regelkreis in Abhängigkeit vom Betriebsmodus des Motors geändert.

Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung liegt darin, daß ein Kraftstoffflußsteuersystem für einen Innenverbrennungsmotor bereitgestellt wird, bei dem das elektrische Kraftstoffsteuersignal linear mit der Menge an zu den Kraftstoffinjektoren fließendem Kraftstoff in Zusammenhang steht.

Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung liegt darin, daß ein Kraftstoffzuführsteuersystem zur Verfügung gestellt wird, bei dem der Kraftstofffluß reguliert wird, indem eine erfaßte Kraftstoffeinspritzrate auf eine gewünschte Einspritzrate unter Verwendung einer rückgekoppelten Steuerschleife zur Übereinstimmung gebracht wird.

Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung liegt darin, daß ein Kraftstoffflußsteuersystem zur Verfügung gestellt wird, bei dem die Verstärkung der Kraftstoffsteuereinheit durch Umschalten zwischen verschiedenen Steuermodi, die zur Bestimmung des Kraftstoffflusses in den Motor verwendet werden, bestimmt wird.

Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung anhand der Zeichnung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels näher erläutert. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 ein Zustandsdiagramm, das das Umschalten zwischen einem Motorgeschwindigkeitssteuer- und einem Drehmomentsteuermodus gemäß der vorliegenden Erfindung darstellt,

Fig. 2 ein Blockdiagramm einer bevorzugten Ausführungsform einer Steuerung gemäß der vorliegenden Erfindung,

Fig. 3 ein Blockdiagramm eines Motors, von Kraftstoffzuführorganen und Sensoren, die durch die Schaltung nach Fig. 2 gesteuert werden,

5 Fig. 4 ein Blockdiagramm eines Leitungskompensators, der in der Schaltung nach Fig. 2 verwendet wird, und

Fig. 5 ein Blockdiagramm einer bevorzugten Ausführungsform eines PI-Reglers, der in Fig. 2 gezeigt ist.

Die vorliegende Erfindung betrifft generell eine Kraftstoffzuführungs-Steuervorrichtung und Verfahren zur Steuerung der Kraftstoffzuführung eines Innenverbrennungsmotors durch direktes Steuern der Kraftstoffzufuhr-
 10 meßrate bzw. -menge unter Verwendung einer Mitkopplungs/Rückkopplungs-Steuereinheit. Die Zumeßraten-
 steuerung bzw. Mengensteuerung wird verwendet, um einen Kraftstoffsammelleitungsdruck zu variieren, um
 eine gewünschte Menge an Kraftstoff bei jedem Zyklus Dosierkammern von Kraftstoffinjektoren des Motors
 zuzuführen. Der Druck in der Kraftstoffsammelleitung ist die primäre Bestimmungsgröße für die Menge an
 eingespritztem Kraftstoff, wobei die Rückkopplungs-Steuereinheit aber die Volumenrate bzw. die Volumen-
 15 menge der Einspritzung auf einen gewünschten Wert steuert, anstatt einen gewünschten Druck in der Kraft-
 stoffsammelleitung zu etablieren.

Der Motor wird vorzugsweise durch ein elektronisches Steuermodul (ECM) gesteuert, das die gewünschten
 Kraftstoffraten bzw. -mengen basierend auf einer Gaspedalstellung, der Motorgeschwindigkeit, einer Leerlauf-
 geschwindigkeitsregeleinrichtung und einer Regeleinrichtung für die maximale Drehzahl und anderen Faktoren
 bestimmt. Aus Gründen, die später detaillierter beschrieben werden, wurde festgestellt, daß es wünschenswert
 20 ist, mehrere Betriebsmodi für die Motorkraftstoffsteuerung zu definieren. Es wird ersichtlich werden, daß die
 programmierte Wirkungsweise bzw. Funktion des Kraftstoffsteuersystems in Abhängigkeit von dem vorherr-
 schenden Betriebsmodus des Motors variiert.

Fig. 1 ist ein Statusübergangsdiagramm, das die Betriebsmodi des elektronischen Steuermoduls der vorliegen-
 den Erfindung zeigt. Wie nachfolgend detaillierter erläutert werden wird, wird der Betriebsstatus des elektroni-
 25 schen Steuermoduls verwendet, um Verstärkungseinstellungen bei der Kraftstoffsteuereinheit festzulegen.

Wie in Fig. 1 gezeigt, weist das bei der vorliegenden Erfindung verwendete Motorsteuersystem vorzugsweise
 sechs Zustände auf: einen Anlaßdiagnosezustand 100, einen Startzustand 102, einen Stoppzustand 104, einen
 Geschwindigkeitssteuerzustand 106, einen Drehmomentsteuerzustand 108 und einen Abschaltzustand 110. Der
 Steueralgorithmus zur Bestimmung des Betriebszustandes des Kraftstoffsteuersystems ist in einem Speicher der
 30 ECM gespeichert und wird durch einen Mikroprozessor oder einen ähnlichen Mikrocontroller in der ECM
 ausgeführt.

Der Steueralgorithmus hat eine Vielzahl von Eingangsvariablen zur Bestimmung des Betriebszustandes des
 Kraftstoffsteuersystems: den endgültigen Kraftstoffzuführwert, die mittlere Motorgeschwindigkeit, den Kraft-
 stoffzuführungs-Steuerzustand, die minimale Kraftstoffzuführung und Motordiagnosen. Der Anlaßdiagnosezu-
 35 stand 100 wird nach Einschalten der Energieversorgung der ECM ausgeführt. Der Startzustand 102 wird
 ausgeführt, wenn sich der Kraftstoffzuführungssteuerzustand in einem Anlaß- bzw. Drehzustand befindet. Der
 Abschaltzustand 110 wird aktiviert, wenn der Motor abgeschaltet wird, jedoch noch nicht angehalten hat,
 während der Stoppzustand 104 aktiv ist, wenn der Motor angehalten hat. Der Geschwindigkeitssteuerzustand
 40 106 wird durch das Kraftstoffsteuersystem ausgeführt, wenn die Kraftstoffzuführung durch einen Motorge-
 schwindigkeitsregler gesteuert wird, wie einen Leerlaufgeschwindigkeitsregler oder einen Regler für die maxi-
 male Drehzahl. Der Drehmomentsteuerzustand 108 wird ausgeführt, wenn die Kraftstoffzuführung durch etwas
 anderes als den Geschwindigkeitsregler, wie ein Gaspedal, ein AFC (eine Luft/Kraftstoff-Steuerung) oder eine
 Drehmomentkurve, gesteuert wird. Daher sind, anders als wenn der Motor gestoppt und gestartet wird, die
 45 beiden Betriebszustände des Kraftstoffsteuersystems, die die Verstärkungseinstellung der Kraftstoffsteuerein-
 richtung festlegen, der Geschwindigkeitssteuerzustand 106 und der Drehmomentsteuerzustand 108.

Das Kraftstoffsteuersystem umfaßt einen Timer bzw. eine Zeitmeßeinrichtung, um festzustellen, wenn der
 Übergang zu dem Anlaßdiagnosezustand 100 (durch einen Übergang G in Fig. 1 gekennzeichnet) auszuführen
 ist. Die Zeitmeßeinrichtung wird beim Anlassen gestartet und inkrementiert weiter, bis sie ein oberes Kalibra-
 tionszeitlimit erreicht, zu welchem Zeitpunkt ihr Ausgangssignal eingefroren bzw. konstantgehalten wird. Wenn
 50 die Diagnosen noch nicht ausgeführt worden sind, dann wird der Anlaßdiagnosezustand aktiviert. Nachdem die
 Anlaßdiagnosen durchgeführt worden sind, was durch die Motordiagnoseeingabevariablen angezeigt wird, die
 einen "fertig zum Starten"-Anzeigewert geben, wird das Kraftstoffsteuersystem in den Stoppstatus 104 in einem
 Übergang H umgeschaltet.

Nachdem sich der Motor in einem Drehzustand befindet und die Anlaßdiagnosen vollendet worden sind oder
 55 wenn der Motor bereits läuft, wird der Startzustand 102 in dem Kraftstoffsteuersystem in einem Übergang F
 aktiviert. Wenn der Motorgeschwindigkeitsregler die Kraftstoffzuführung steuert und die endgültige Kraftstoff-
 zuführung größer als eine vorbestimmte minimale Kraftstoffzufuhr ist, wird das Kraftstoffsteuersystem in den
 Geschwindigkeitssteuerzustand 106 in einem Übergang A umgeschaltet.

Wenn sich der Kraftstoffzuführungssteuerzustand nicht in einem Drehzustand befindet und die Motorge-
 60 schwindigkeitsregler den Motorbetrieb nicht steuern, dann wird das Kraftstoffsteuersystem in den Drehmo-
 mentsteuerzustand 108 in einem Übergang B umschalten. Das Kraftstoffsteuersystem wird auch in den Drehmo-
 mentsteuerzustand 108 in einen Übergang B umschalten, wenn der endgültige Kraftstoffzuführungseingabewert
 dem minimalen Kraftstoffzuführungseingabewert entspricht. In einem Übergang C wird das Kraftstoffsteuersys-
 tem zurück in den Startzustand 102 schalten, immer dann, wenn der Kraftstoffzuführungssteuerzustand dem
 65 Kraftstoffzuführungsdrehzustand entspricht. Wenn ein Abschalten des Motors initiiert worden ist, wird das
 Kraftstoffsteuersystem in den Abschaltzustand 110 in einem Übergang D umschalten. Wenn der Motor vollstän-
 dig angehalten hat, wird das Kraftstoffsteuersystem in den Stoppzustand 104 in einem Übergang E umschalten.

In Fig. 2 ist ein Kraftstoffsteuersystem 200 dargestellt, das die Rate bzw. Menge an in einen Innenverbren-

nungsmotor einzuspritzendem Kraftstoff steuert. Die Komponenten des Kraftstoffsteuersystems 200 umfassen eine "Kraftstoff zu Strom"-Tabelle 202, einen Leitungskompensator 204, einen Addierer 206, einen Proportional-Integral-Regler (PI-Regler) 208, einen Addierer 210, eine Stromsteuerung 212, einen Fehlerkompensationsschalter 214, eine "Druck zu Kraftstoff"-Tabelle 216, einen Addierer 218 und eine Druckanpassung 220. Das Kraftstoffzufuhrsystem bzw. -steuersystem 200 ist mit einem elektronischen Steuermodul 222 verbunden und erhält von diesem ein Kraftstoffsignal 226. Das Kraftstoffsteuersystem 200 ist so angeschlossen, daß es eine rückgekoppelte Steuerung bzw. Regelung für einen Motor 224 bildet.

Das elektronische Steuermodul 222 führt die konventionellen Funktionen aus, wobei durch Sensoren der Motor überwacht und der Betrieb gesteuert wird, die Geschwindigkeit geregelt wird, Pedalsignale aufgenommen werden, passende Betriebsparameter unter Verwendung programmierter Algorithmen berechnet werden und Steuerausgangssignale erzeugt werden, um einen gewünschten Motorbetrieb über einen Bereich von Betriebsbedingungen bzw. Betriebszuständen zu erreichen. Das wesentliche Ausgangssignal des elektronischen Steuermoduls 222 bezüglich der Kraftstoffsteuerung gemäß der vorliegenden Erfindung ist das Kraftstoffsignal (Kraftstoffmengeneinspritzsignal) 226; die anderen, üblichen Steuerausgangssignale und Eingangssignale des elektronischen Steuermoduls 222 sind in der Zeichnung weggelassen.

Das elektronische Steuermodul 222 stellt das Kraftstoffsignal 226 als eine gewünschte Kraftstoffrate bzw. -menge in Einheiten von Kubikmillimetern an in jeden Zylinder bei einem Einspritzvorgang einzuspritzendem Kraftstoff zur Verfügung. Das vorschlagsgemäße Kraftstoffsteuersystem 200 weicht von einem üblichen Kraftstoffsteuersystem dadurch ab, daß anstatt einer Konvertierung dieser gewünschten Kraftstoffmenge in einen Druck und Steuerung, um diesen Druck zu erhalten, das Kraftstoffsteuersystem 200 die gewünschte Kraftstoffmenge direkt als ein Steuerziel bzw. unmittelbar als Sollwert verwendet. Das Kraftstoffsteuersystem 200 steuert dann genau die Kraftstoffeinspritzung in den Motor 224, um das spezifizierte Kraftstoffsignalziel zu erreichen.

Zur Veranschaulichung werden die Komponenten des Kraftstoffsteuersystems 200 in diskreter Form dargestellt. Jedoch werden gemäß der bevorzugten Ausführungsform die Funktionen des Kraftstoffsteuersystems 200, wie unten beschrieben, in Firmware bzw. als vom Hersteller in Festwertspeichern installierte Software als Teil des elektronischen Steuermoduls 222 verwirklicht.

Fig. 3 zeigt die Merkmale bzw. Komponenten des Motors 224, die an das Kraftstoffsteuersystem 200 angeschlossen sind. Wie in Fig. 3 gezeigt, umfaßt der Motor 224 eine Vielzahl von Brennkammern 302, die jeweils mit einem Einlaßventil 304 und einem Kraftstoffinjektor 306 versehen sind. Das Einlaßventil 304 ist mit einem Motoreinlaßkrümmer 324 verbunden, der mit einem Einlaßkrümmersensor 326 versehen ist. Der Kraftstoffinjektor 306 kann z. B. ein Hochdruckinjektor mit offener Düse sein. Jeder der Vielzahl von Kraftstoffinjektoren 306 ist an eine gemeinsame Kraftstoffleitung (Sammelleitung) 308 angeschlossen. Ein unterer Plungerkolben 310 und ein oberer Plungerkolben 312 werden gesteuert, um eine Einspritzkammer 314 zur Kraftstoffleitung 308 für eine definierte Zeitdauer mit bestimmtem Timing bzw. mit Einstellung des spezifischen Zeitpunkts während jedes Einspritzzyklus zu öffnen. Die Menge an in die Einspritzkammer 314 bei jedem Einspritzzyklus eintretendem Kraftstoff hängt von der Differenz zwischen dem Druck in der Kraftstoffleitung 308 und dem Gasdruck in der Brennkammer 302 ab, der durch den Einlaßkrümmerdruck bestimmt ist. So kann die Menge an einzuspritzendem bzw. eingespritztem Kraftstoff durch Steuerung des Drucks in der Kraftstoffleitung 308 gesteuert werden.

Der Druck in der Kraftstoffleitung 308 wird durch eine Pumpe 316 mit einem zugeordneten (nicht dargestellten) Druckregler aufgebaut. Die Pumpe 316 ist von der Kraftstoffleitung 308 durch ein stromgesteuertes, vorzugsweise lineares Betätigungsventil 318 o. dgl. getrennt, das die Kraftstoffleitung 308 in Abhängigkeit von dem einem Anschluß 322 des Ventils 318 zugeführten Strom selektiv unter Druck setzt. Ein Drucksensor 320 ist angeschlossen, um den Druck in der Kraftstoffleitung 308 zu detektieren. Der Anschluß 322 ist angeschlossen, um ein Ausgangssignal der (in Fig. 2 gezeigten) Stromsteuerung 212 aufzunehmen. Ein den detektierten Druck ausgebender Ausgang des Kraftstoffleistungsdrucksensors 320 ist an den positiven Eingang des (in Fig. 2 dargestellten) Addierers 218 angeschlossen, wobei ein den detektierten Einlaßdruck ausgehender Ausgang des Einlaßsensors 326 über die (in Fig. 2 dargestellte) Druckanpassung 220 an den negativen Eingang des Addierers 218 angeschlossen ist. Der Motor 224 weist viele andere Komponenten und Sensoren auf, wie einen Motorgeschwindigkeitssensor und andere Sensoren, die an das elektronische Steuermodul 222 angeschlossen sind. Diese anderen Komponenten sind üblich und zur Vereinfachung weggelassen.

Die Mittel zur Verwirklichung der Steuerung der Kraftstoffeinspritzung, um ein bestimmtes Volumen an Kraftstoff den Injektoren 306 für jeden Einspritzvorgang zur Verfügung zu stellen, werden nun im Detail unter Bezugnahme auf Fig. 2 beschrieben. Wie in Fig. 2 gezeigt, wird das Kraftstoffsignal 226 zu der "Kraftstoff zu Strom"-Tabelle 202, zu dem Fehlerkompensationsschalter 214 und zu dem Addierer 206 übertragen.

Die "Kraftstoff zu Strom"-Tabelle 202 erzeugt zusammen mit dem nachgeschalteten Leitungskompensator 204 eine als offener Regelkreis mitgekoppelte Schätzung eines passenden Betätigungsstroms zur Erzeugung einer gewünschten Bewegung des vorzugsweise linearen Betätigungsorgans bzw. Betätigungsventils 318, das den Kraftstoffleistungsdruck steuert. Diese Schätzung stellt eine schnelle Antwort zur Verfügung bzw. spricht schnell an, sie kann jedoch den erforderlichen Strom aufgrund der Drift des Motors und der hydromechanischen Komponenten nicht genau festlegen. Die "Kraftstoff zu Strom"-Tabelle 202 bildet daher die Soll-Kraftstoffzuführung auf einen Soll-Strom ab, der eine Näherung des erforderlichen Stroms darstellt. Insbesondere erzeugt die "Kraftstoff zu Strom"-Tabelle 202 ein Ausgangssignal in Einheiten des Stroms basierend auf Eingabesignalen von (1) gewünschten Kubikmillimetern an Kraftstoff pro Einspritzvorgang (Kraftstoffsignal 226) und (2) mittlerer Motorgeschwindigkeit, die von dem elektronischen Steuermodul 222 erhalten wird. Ein Flächeninterpolationsalgorithmus wird verwendet, um den Ausgangswert basierend auf den zwei Eingabewerten aus den Tabellenwerten zu bestimmen. Beispielwerte für eine "Kraftstoff zu Strom"-Tabelle 202, die für einen Stromerzeugungsmotor des Typs QSK-19 der Anmelderin geeignet ist, sind in Tabelle A gezeigt.

Das Ausgangssignal des "Kraftstoff zu Strom"-Tabelle 202 wird dem Leitungskompensator 204 zugeführt. Der Leitungskompensator 204 ist ein Digitalfilter, das das generell langsame Ansprechverhalten des Kraftstoffdrucks auf Änderungen des Betätigungsstroms bei Übergangszuständen kompensiert. Der Leitungskompensator 204 inkrementiert tatsächlich die hochfrequente Antwort des Ausgangssignals der "Kraftstoff zu Strom"-Tabelle 202, indem eine "steady state"-Verstärkung von 1,0 und eine hochfrequente Verstärkung von etwa 2,0 bereitgestellt werden. Wenn die Änderungsgeschwindigkeit des Kraftstoffzuführsignals groß ist, wird die resultierende Änderung bei der berechneten Stromschätzung größer gemacht. Folglich wird der Stromwert, wenn ein hohes Motordrehmoment gewünscht wird, das Betätigungsorgan über einen Punkt öffnen, der den gewünschten Kraftstoffdruck unter "steady state"-Bedingungen bzw. im stationären Zustand erzeugen würde. Wenn der Kraftstoffleitungsdruck den gewünschten Level erreicht und der Motor sich an seinen neuen Soll-Betriebszustand angepaßt hat, wird der "steady state"-Verstärkungsfaktor bzw. statische Verstärkungsfaktor im Leitungskompensator 204 vorherrschen und das Betätigungsorgan wird seine Öffnung auf einen Punkt reduzieren, der den gewünschten Kraftstoffdruck im stationären Zustand erzeugt.

Fig. 4 ist ein Diagramm einer bevorzugten Ausführungsform des Leitungskompensators 204. Wie in Fig. 4 dargestellt, wird das Ausgangssignal der "Kraftstoff zu Strom"-Tabelle 202 dem Leitungskompensator 204 zugeführt und insbesondere einem Integrator 402 und einem Addierer 404. Der Ausgang des Integrators 402 ist an einen Addierer 406 angeschlossen, dessen Ausgang mit einem Multiplizierer 408 verbunden ist. Der Multiplizierer 408 stellt vorzugsweise eine Hochfrequenzverstärkung von 1,7 zur Verfügung. Der Ausgang des Multiplizierers 408 ist an einen subtrahierenden Eingang eines Addierers 410 angeschlossen.

Der Ausgang des Addierers 410 stellt den Ausgang des Leitungskompensators 204 dar und ist an den (in Fig. 2 gezeigten) Addierer 210 angeschlossen. Der Ausgang des Addierers 410 ist auch an einen Integrator 412 angeschlossen. Der Ausgang des Integrators 412 ist an einen subtrahierenden Eingang des Addierers 406, einen additiven Eingang des Addierers 410 und einen subtrahierenden Eingang des Addierers 404 angeschlossen.

Der Ausgang des Addierers 404 ist an einen Multiplizierer 414 angeschlossen. Der Multiplizierer 414 hat eine Verstärkung von 2,1, wobei dies die Summe aus der hochfrequenten bzw. Übergangs-Verstärkung des Multiplizierers 408 und einer Filterkonstanten von 0,4 ist. Der Ausgang des Multiplizierers 414 ist an einen additiven Eingang des Addierers 410 angeschlossen.

Bezugnehmend auf Fig. 2, das Ausgangssignal des Leitungskompensators 204 wird einem Eingang des Addierers 210 zusammen mit dem Ausgangssignal des PI-Reglers 208 zugeführt. Der PI-Regler 208 stellt einen Rückkopplungssteuereingang zur Verfügung, der die von der mitgekoppelten Berechnung der "Kraftstoff zu Strom"-Tabelle 202 und dem Leitungskompensator 204 bereitgestellte "Schätzung des erforderlichen Betätigungsstroms" anpaßt. Der PI-Regler 208 und sein rückgekoppelter Regelkreis haben den Effekt, daß Variationen des zum Öffnen verschiedener Betätigungsventile auf die gleiche Position erforderlichen Stroms kompensiert werden.

Das Ausgangssignal der Stromsteuerung 212 ist ein pulsbreitenmoduliertes Signal mit einem Einschaltzyklus bzw. -verhältnis, der bzw. das einen gewünschten totalen effektiven Strom erzeugt, der die Soll-Kraftstoffzuführrate bzw. die erforderliche Kraftstoffzufuhrmenge erzeugt. Die Stromsteuerung 212 bildet den pulsbreitenmodulierten Treiberschaltkreis zur Ausführung dieser Funktion und kompensiert zusätzlich vorzugsweise Änderungen der Batteriespannung und/oder der Umgebungstemperatur. Änderungen der Batteriespannung könnten ansonsten das erforderliche Einschalt- bzw. Tastverhältnis des dem Betätigungsorgan bzw. dem Betätigungsventil zuzuführenden Stroms beeinflussen. Insbesondere wenn die Batteriespannung abfällt, muß das Tastverhältnis erhöht werden, um den gleichen effektiven Strom dem Betätigungsorgan unter der Annahme zuzuführen, daß der Widerstand des Betätigungsorgans konstant ist. Änderungen der Umgebungstemperatur tendieren dazu, den effektiven Widerstand des Betätigungsorgans in einer nicht linearen Art zu ändern, was in einer Variation des für das Ausgangssignal erforderlichen Tastverhältnisses resultiert. Das Vorsehen der Stromsteuerung 212 eliminiert im wesentlichen diese nicht linearen Faktoren, so daß die rückgekoppelte Regelschleife des Kraftstoffsteuersystems 200 diese Faktoren nicht kompensieren muß. Das Verhältnis von erforderlichem Strom zu erforderlichem Tastverhältnis ist eine bekannte lineare Funktion. Eine Näherung des Widerstands des Betätigungsorgans wird durch Multiplikation der Steigung dieser linearen Funktion mit der Batteriespannung erhalten, um eine normierte Steigung bzw. einen normierten Widerstandswert zu erzeugen. Bei niederen Stromwerten wird diese Art der Widerstandsberechnung unterdrückt und ein Standardwert verwendet, weil diese Berechnungen bei niederen Stromwerten ungenau werden. Außerdem wird die Widerstandsberechnung stark gefiltert, um Rauschen zu reduzieren. Außerdem wird der berechnete Widerstandswert, wenn Strom zugeführt wird, sofort fehlerhaft, da der Strom der Spannung bei dem Tastverhältnisschritt nacheilt. Aus diesem Grund wird der berechnete Widerstand durch den Filterprozeß bzw. den Filtervorgang auch geschwindigkeitslimitiert bzw. in seiner Änderungsgeschwindigkeit begrenzt. Auf diese Weise wird ein gewünschtes pulsbreitenmoduliertes Stromausgangssignal dem Motor 224 zur Verfügung gestellt.

Der bevorzugte Aufbau des Rückkopplungskreises für den PI-Regler 208 (einschließlich des Einlaßsensors 326, des Drucksensors 320, der Druckanpassung 220, des Addierers 218, der "Druck zu Kraftstoff"-Tabelle 216 und des Schalters 214) wird nun im Detail beschrieben. Der von dem (in Fig. 3 dargestellten) Sensor 326 gemessene Einlaßdruck wird von der Druckanpassung 220 angepaßt, bevor er dem Addierer 218 zugeführt wird, wo er von dem Wert des detektierten Leitungsdrucks, der von dem (in Fig. 3 gezeigten) Drucksensor 320 bestimmt wird, subtrahiert wird, um einen Differenzdruckwert als Eingangssignal für die "Druck zu Kraftstoff"-Tabelle 216 zur Verfügung zu stellen.

Die Verwendung dieses Druckunterschieds stellt einen wesentlichen Vorteil bei der vorliegenden Erfindung dar. Es wurde festgestellt, daß die Menge an eingespritztem Kraftstoff von der Differenz zwischen dem Kraftstoffleitungsdruck und dem Einlaßkrümmerdruck abhängt und nicht von dem Kraftstoffleitungsdruck allein. Aufgrund der Eigenschaften eines Injektors mit offener Düse muß der Kraftstoffdosier- bzw. Kraftstoffzumeß-

Druck gegen den Zylinderdruck arbeiten, wenn zugemessen bzw. dosiert wird. Der Zylinderdruck steht in einem engen Zusammenhang zu dem Einlaßkrümmerdruck während des Abschnitts des Hubs, wenn die Kraftstoffdosierung in den Injektor auftritt. Diese Abhängigkeit bleibt während der Motorübergänge und bei Zuständen niedrigen Umgebungsdrucks (bei einem Betrieb in großer Höhe) gültig. Dies bedeutet, daß der Kraftstoffdruck, der erforderlich ist, um eine gewünschte Kraftstoffzufuhr zu erhalten, als Funktion der Höhe variiert. Durch Verwendung der differentiellen Druckmessung für die rückgekoppelte Steuerung kompensiert die vorliegende Erfindung die Auswirkungen von Übergangsladedruckänderungen und der Höhe auf die bei einem bestimmten Leitungsdruck eingespritzte Menge an Kraftstoff.

Die Druckanpassung 220 wandelt das Ausgangssignal des Sensors 326 entweder von einem Meßdruckablesewert oder einem absoluten Druckablesewert in Abhängigkeit vom Typ des verwendeten Sensors in einen Schätzwert des absoluten Einlaßkrümmerdrucks in Einheiten von Pfund pro inch² oder eine korrespondierende SI-Einheit um. Die Druckanpassung 220 kompensiert auch Ausfälle des Drucksensors 326 durch Verwendung eines Schätzwerts des Verstärkungsdrucks, wenn der Drucksensor 326 nicht richtig arbeitet. In diesem Fall wird eine interne Nachschlagetabelle der Druckanpassung 220 verwendet, um den geschätzten Wert zur Verfügung zu stellen. Die Eingangswerte dieser Nachschlagetabelle sind die Motorgeschwindigkeit und die aktuelle Kraftstoffrate, wodurch eine Schätzung des Verstärkungsdrucks bzw. Ladedrucks im stationären Zustand bestimmt wird.

Die "Druck zu Kraftstoff"-Tabelle 216 bildet den gemessenen differentiellen Kraftstoffleitungsdruck bzw. die Druckdifferenz auf die Kraftstoffzuführungsrate bzw. Kraftstoffzufuhrmenge ab. Die "Druck zu Kraftstoff"-Tabelle 216 erzeugt ein Ausgangssignal in Einheiten von Kubikmillimetern an Kraftstoff pro Einspritzvorgang basierend auf Eingangssignalen (1) des Differenzdrucks zwischen der Kraftstoffleitung und dem Motoreinlaßkrümmer und (2) der mittleren Motorgeschwindigkeit, die von dem elektronischen Steuermodul 222 erhalten wird. Ein Flächeninterpolationsalgorithmus wird verwendet, um basierend auf zwei Eingangswerten den Ausgangswert aus den Tabellenwerten zu bestimmen. Beispielswerte für die "Druck zu Kraftstoff"-Tabelle 216, die zu einem Stromerzeugungsmotor des Typs QSK-19 der Anmelderin passen, sind in Tabelle B gezeigt.

Die Werte dieser beiden Tabellen A und B werden durch empirisches Aufzeichnen der erforderlichen Leitungsdrücke und Taktzyklen für den Betrieb des bestimmten Motors festgelegt. Diese Daten werden vorzugsweise zusammen mit konstanten Einstellungen der Motorgeschwindigkeit und des Einspritzzeitpunkts gesammelt, um die Anzahl der Variablen in den Daten zu minimieren. Auf diese Art können für jeden gewünschten Motor geeignete Umwandlungstabellen erzeugt werden.

Das Ausgangssignal der "Druck zu Kraftstoff"-Tabelle 216 wird durch den Schalter 214 zu dem Addierer 206 übertragen. Der Schalter 214 ist normalerweise so eingestellt, daß das Ausgangssignal der Tabelle 216 zu dem Addierer 206 passieren kann. Vorzugsweise werden die Funktion und die Ausgangssignale des Kraftstoffleitungsdrucksensors 320 und des Einlaßkrümmerdrucksensors 326 überwacht, um festzustellen, wenn einer der Sensoren fehlerhaft ist. Im Falle eines Ausfalls einer der Drucksensoren unterbricht der Schalter 214 die Verbindung des Ausgangs der "Druck zu Kraftstoff"-Tabelle 216 zu dem Addierer 206 und verbindet statt dessen das Kraftstoffsignal 226 mit dem subtrahierenden Eingang des Addierers 206. In diesem Fall erzeugt der Addierer 206 ein Null-Ausgangssignal und der PI-Regler 208 wird auf Null gesetzt. Der PI-Regler läßt dann seinen vorhandenen Wert auf einen vorgegebenen Wert übergehen, und dieser Wert wird ohne Änderungen aufgrund des durch die Betätigung des Schalters 214 bereitgestellten Nullfehlersignals verwendet.

Der Aufbau und die Funktion der bevorzugten Ausführungsform des PI-Reglers 208 ist im Blockdiagramm von Fig. 5 dargestellt. Ein Eingang 510 nimmt das Ausgangssignal des (in Fig. 2 dargestellten) Addierers 206 auf und ist an einen Fehlerbegrenzer 512 angeschlossen. Der Ausgang des Fehlerbegrenzers 512 ist an einen Integralverstärkungsmultiplizierer 514 und einen Proportionalverstärkungsmultiplizierer 516 angeschlossen. Der Ausgang des Proportionalverstärkungsmultiplizierers 516 ist an einen Addierer 518 angeschlossen. Der Ausgang des Addierers 518 ist über einen Schalter 520 mit dem Kraftstoffzuführungsstrom-Abweichungsausgang 522 verbunden. Der Ausgang des Addierers 518 ist auch an einen Geschwindigkeitsbegrenzer 524 angeschlossen, dessen Ausgang mit dem Schalter 520 verbunden ist. Der Schalter 520 verbindet den Kraftstoffzuführungsstrom-Abweichungsausgang 522 selektiv mit dem Ausgang des Addierers 518 oder dem durch den Geschwindigkeitsbegrenzer 524 in der Geschwindigkeit bzw. der Änderungsgeschwindigkeit begrenzten Ausgang des Addierers 518. Der Kraftstoffzuführungsstrom-Abweichungsausgang 522 stellt das Ausgangssignal des PI-Reglers 208 zur Verfügung und ist an den (in Fig. 2 gezeigten) Addierer 210 angeschlossen.

Der Schalter 520 wird aktiviert, um den Geschwindigkeitsbegrenzer 524 in den Schaltkreis zu schalten, wenn die Änderungsgeschwindigkeit des Ausgangssignals des Addierers 518 eine vorbestimmte Geschwindigkeit überschreitet. Diese Funktionalität verbessert die Stabilität der Funktion bzw. des Betriebs.

Der Ausgang des Integralverstärkungsmultiplizierers 514 ist an einen Eingang eines Addierers 526 angeschlossen. Der Ausgang des Addierers 526 ist mit einem Begrenzer 528 verbunden. Der Ausgang des Begrenzers 528 ist an den Addierer 518 und auch über einen Integrator 530 an den Addierer 526 angeschlossen.

Der PI-Regler 208 ist eine rückgekoppelte Steuereinheit, die eine Stromabweichung erzeugt, die die Differenz zwischen dem geschätzten (vom Ausgang des in Fig. 2 dargestellten Kompensators 204 genommenen) Strom, der erforderlich ist, um die gewünschte Kraftstoffrate zu erhalten, und den tatsächlich erforderlichen Strom darstellt. Das Kraftstoffsignal 226 wird als Referenzeingang bzw. Sollgröße des Reglers 208 verwendet, und der geschätzte, durch die "Druck zu Kraftstoff"-Tabelle 216 erzeugte Kraftstoffzuführungswert bildet den Rückkopplungseingang bzw. die Ist-Größe des Reglers 208.

Bezeichnenderweise weisen beide, der Proportionalverstärkungsmultiplizierer 516 und der Integralverstärkungsmultiplizierer 514 Steuereingänge zur selektiven Variierung ihrer Verstärkungsfaktoren in Abhängigkeit vom Motorbetriebszustand auf. Dies stellt eine Verstärkungsfaktor-Vorgabeeigenschaft zur Verfügung, die einen optimalen Betrieb des Motors sowohl im reglerbegrenzten (geschwindigkeitsgesteuerten) Modus als auch

im gaspedalgesteuerten (Drehmomentgesteuerten) Modus gestattet. Die vorstehend Multiplizierern 514 und 516 verwendeten Verstärkungsfaktoren werden durch den Steuerzustand des Motors festgelegt.

Wenn sich der Motor nicht in einem Regler-Modus sondern in dem drehmomentgesteuerten Modus befindet, wird vorzugsweise ein aggressiverer Satz von Verstärkungsfaktoren implementiert. Wenn der Betrieb von einem Regler bestimmt wird (geschwindigkeitsgesteuerter Modus), sollte eine weniger aggressive Verstärkung implementiert werden.

Im Start-, Abschalt-, Stopp- und Diagnosezustand werden "Startzustands"-Verstärkungsfaktoren verwendet, wie 0,0010 A/mm³/Hub für den Proportionalverstärkungsfaktor und 0,00001 A/mm³/Hub für den Integralverstärkungsfaktor. In dem Drehmoment (Kraftstoff) gesteuerten Modus können z. B. ein Proportionalverstärkungsfaktor von 0,0005 A/mm³/Hub und ein Integralverstärkungsfaktor von 0,00005 A/mm³/Hub verwendet werden. Exemplarische Verstärkungswerte für den geschwindigkeitsgesteuerten Modus sind 0,0005 A/mm³/Hub für die Proportionalverstärkung und 0,00001 A/mm³/Hub für die Integralverstärkung. Es ist ersichtlich, daß der Integralverstärkungswert für den drehmomentgesteuerten Modus etwa 5 mal größer als der im geschwindigkeitsgesteuerten Modus verwendete Wert sein kann.

Wenn der Motor zwischen den Modi umschaltet, erfolgt die Änderung der Verstärkung rampenartig, um eine plötzliche Änderung der Kraftstoffzuführung zu vermeiden. Ein inkrementeller Verstärkungswert wird gebildet, und die Verstärkungsfaktoren werden während jedes Motorhubes um diesen inkrementellen Verstärkungsfaktorwert geändert, bis die neuen Verstärkungswerte erreicht sind. Zum Beispiel kann der Proportionalverstärkungsfaktor in Schritten von 0,00010 A/mm³/Hub zu einem gewünschten Wert rampenartig verändert werden, während der Integralverstärkungsfaktor in Schritten von 0,00001 A/mm³/Hub rampenartig verändert werden kann.

Diese Verstärkungseinstellmöglichkeit bildet einen bedeutenden Vorteil. Durch Untersuchung relevanter Systeme wurde festgestellt, daß der Leitungsdruck beim geschlossenen Regelkreis den stationären Zustandswert zu langsam für die gewünschten Betriebszwecke erreicht. Daher ist eine vernünftige hohe Verstärkung erforderlich, um den Übergängen während des Motorbetriebs genau zu folgen. Wenn der Motor jedoch in dem Geschwindigkeitssteuerzustand arbeitet, tendiert die Steuerschleife bzw. der Regelkreis dazu, bei hohen Verstärkungen instabil zu werden. In diesem Modus hängt der Motorsteuerungsbetrieb von der detektierten Motorgeschwindigkeit ab, und die Motorgeschwindigkeit wird innerhalb des Kraftstoffsteuersystems 200 zusätzlich dazu verwendet, die primäre Steuerungsrückkopplung (um das System 200 herum) zu dem elektronischen Steuermodul zu bilden. Es wurde festgestellt, daß der begrenzte Level der Verstärkung, der für den Geschwindigkeitssteuermodus angepaßt ist, niedriger als derjenige ist, der für den Drehmomentsteuermodus wünschenswert ist. Durch Vorsehen zweier verschiedener Verstärkungen für diese zwei verschiedenen Modi ist es möglich, die Stabilität im Geschwindigkeitssteuermodus beizubehalten und auch einen Motorbetrieb zu erzeugen, der schnell auf Änderungen bzw. Übergänge im Drehmomentsteuermodus anspricht.

Wenn ein festliegendes Betätigungsorgan bzw. Betätigungsventil 318 oder ein Sensorfehler festgestellt werden, wie ein Fehler in den Sensoren 320 oder 326, wird der Integratorwert X1 (der das Ausgangssignal des Begrenzers 528 darstellt) sofort auf einen Standardwert zurückgesetzt. Das Ausgangssignal 522 wird auch auf einen Standardwert, z. B. null, zurückgesetzt, wobei das Ausgangssignal 522 vorzugsweise aber rampenartig auf den Standardwert durch den Geschwindigkeitsbegrenzer 524 geändert wird.

Die erfindungsgemäße direkte Steuerung bzw. Verwendung der Kraftstoffflußrate als Zielwert bzw. Sollgröße anstatt der Steuerung auf einen gewünschten Kraftstoffdruck führt zu vielen wesentlichen Vorteilen. Erstens stellt dieses Verfahren eine Ansprechzeit des Regelkreises zur Verfügung, die näherungsweise unabhängig von der Last ist, was die Genauigkeit erhöht. Zweitens ist eine Kalibrierung des Systems nicht besonders empfindlich hinsichtlich der Linearität der Zusammensetzung der Nachschlagetabellen, wie dies bei rückgekoppelten Steuersystemen der Fall ist, die den Druck als Ziel- bzw. Sollgröße verwenden. So wird ein verbessertes System und Verfahren zur Steuerung des Kraftstoffflusses bzw. der Kraftstoffzuführung bei einem Innenverbrennungsmotor offenbart.

Die Tabelle A gibt den geschätzten Strom zur Ansteuerung des Betätigungsventils 318 in Abhängigkeit von der gewünschten Kraftstoffeinspritzmenge pro (Injektor-)Hub und der Motordrehzahl an.

Die Tabelle B gibt die geschätzte tatsächliche Kraftstoffeinspritzmenge pro (Injektor-)Hub in Abhängigkeit von dem (Differenz-)Druck und der Motordrehzahl an.

In der Tabelle B sind die (Differenz-)Drücke in psi (pound/inch²) angegeben. Diese Druckwerte lassen sich durch Multiplikation mit dem Faktor 6894,76 in die SI-Einheit N/m² (Pa) umwandeln.

Tabelle A

"Fluß zu Strom"-Tabelle (Tabellenwerte in Ampere)

U/min	0.0	200.0	400.0	600.0	700.0	800.0	900.0	1100.0	1300.0	1500.0	1800.0	1900.0	2100.0	2300.0	4000.0
0.00 mm ³ /Hub	0.4700	0.4700	0.4700	0.4700	0.4700	0.4700	0.4700	0.4700	0.4700	0.4700	0.4700	0.4700	0.4700	0.4700	0.4700
19.99	0.5070	0.5115	0.5143	0.5170	0.5215	0.5264	0.5314	0.5472	0.5500	0.5535	0.5570	0.5620	0.5673	0.5711	0.6192
40.01	0.5229	0.5280	0.5311	0.5341	0.5389	0.5444	0.5520	0.5663	0.5699	0.5745	0.5790	0.5850	0.5912	0.6012	0.6652
60.00	0.5389	0.5446	0.5479	0.5510	0.5565	0.5624	0.5706	0.5853	0.5900	0.5955	0.6010	0.6080	0.6152	0.6252	0.6912
79.99	0.5551	0.5610	0.5647	0.5680	0.5740	0.5804	0.5890	0.6042	0.6100	0.6165	0.6230	0.6310	0.6392	0.6492	0.7172
100.01	0.5710	0.5775	0.5815	0.5850	0.5916	0.5984	0.6075	0.6233	0.6300	0.6374	0.6450	0.6541	0.6632	0.6732	0.7432
124.99	0.5899	0.5981	0.6025	0.6063	0.6134	0.6208	0.6306	0.6471	0.6550	0.6638	0.6735	0.6829	0.6932	0.7032	0.7758
150.00	0.6110	0.6188	0.6235	0.6274	0.6353	0.6434	0.6538	0.6708	0.6801	0.6899	0.6999	0.7115	0.7231	0.7332	0.8082
175.01	0.6310	0.6394	0.6445	0.6488	0.6571	0.6659	0.6769	0.6946	0.7050	0.7163	0.7275	0.7404	0.7532	0.7632	0.8407
199.99	0.6510	0.6600	0.6655	0.6700	0.6790	0.6884	0.6999	0.7183	0.7300	0.7426	0.7550	0.7690	0.7832	0.7932	0.8732
225.00	0.6710	0.6805	0.6865	0.6913	0.7009	0.7109	0.7231	0.7421	0.7550	0.7688	0.7835	0.7978	0.8132	0.8232	0.9058
250.01	0.6910	0.7013	0.7075	0.7125	0.7228	0.7334	0.7463	0.7657	0.7800	0.7950	0.8101	0.8253	0.8433	0.8532	0.9382
274.99	0.7111	0.7219	0.7285	0.7338	0.7446	0.7559	0.7694	0.7895	0.8051	0.8213	0.8375	0.8553	0.8732	0.8832	0.9707
300.00	0.7310	0.7426	0.7495	0.7550	0.7665	0.7784	0.7925	0.8134	0.8300	0.8475	0.8650	0.8840	0.9032	0.9232	1.0032
325.01	0.7510	0.7631	0.7705	0.7762	0.7885	0.8009	0.8155	0.8372	0.8550	0.8738	0.8925	0.9128	0.9332	0.9432	1.0356
349.99	0.7710	0.7838	0.7915	0.7975	0.8103	0.8234	0.8387	0.8608	0.8800	0.9000	0.9200	0.9415	0.9633	0.9732	1.0682
375.00	0.7910	0.8044	0.8125	0.8188	0.8322	0.8459	0.8639	0.8846	0.9050	0.9263	0.9475	0.9703	0.9932	1.0032	1.1037
400.01	0.8110	0.8249	0.8335	0.8400	0.8540	0.8684	0.8850	0.9083	0.9301	0.9525	0.9758	0.9990	1.0232	1.0332	1.1332
450.00	0.8509	0.8661	0.8755	0.8824	0.8978	0.9134	0.9313	0.9558	0.9800	1.0050	1.0300	1.0565	1.0832	1.0932	1.1982
600.00	0.9709	0.9900	1.0015	1.0100	1.0291	1.0485	1.0699	1.0983	1.1300	1.1625	1.1949	1.2290	1.2632	1.2732	1.3932

5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65

Tabelle B

Druck zu Fluß"-Tabelle (Tabellenwerte in mm²/Hub)

U/min	0.00	200.00	400.00	600.00	800.00	1050.00	1300.00	1400.00	1500.00	1650.00	1800.00	1900.00	2100.00	4000.00
0.00 psi	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99
1.00	65.18	65.18	32.58	21.73	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99
2.00	128.98	128.98	64.50	42.98	32.25	24.56	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99
3.00	191.44	191.44	95.72	63.82	47.86	36.47	29.46	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99	19.99
4.00	252.59	252.59	126.28	84.19	63.14	48.12	38.86	36.07	25.52	23.20	21.28	20.16	19.99	19.99
5.00	312.45	312.45	156.21	104.16	78.12	59.51	48.07	44.63	31.68	30.61	28.05	26.60	24.07	19.99
7.00	428.39	428.39	216.20	142.80	107.11	81.61	65.91	61.20	41.65	37.88	34.71	32.88	29.77	19.99
10.00	593.32	593.32	296.65	197.77	148.34	113.02	91.29	84.75	57.12	51.94	47.60	45.09	40.80	21.42
15.00	700.01	700.01	422.88	281.93	211.43	161.11	130.13	120.82	79.10	71.93	65.93	62.46	56.51	29.67
20.00	700.01	700.01	536.39	357.61	268.20	204.35	162.05	153.26	112.78	102.52	93.98	89.04	80.55	42.28
30.00	700.01	700.01	700.01	487.22	365.44	278.41	224.88	208.80	143.04	130.03	119.20	112.92	102.16	53.65
40.00	700.01	700.01	700.01	593.65	443.34	339.23	271.58	254.61	177.19	177.19	162.40	153.87	139.22	73.10
60.00	700.01	700.01	700.01	700.01	570.56	434.72	351.12	326.04	237.47	215.86	197.88	187.48	163.62	89.04
80.00	700.01	700.01	700.01	700.01	674.06	513.59	414.82	385.17	304.29	276.63	253.57	240.23	217.36	116.22
90.00	700.01	700.01	700.01	700.01	700.01	531.93	445.78	413.93	359.51	326.81	299.60	283.83	256.78	134.82
130.00	700.01	700.01	700.01	700.01	700.01	700.01	583.34	541.66	505.55	459.59	421.29	399.12	361.30	144.99
170.00	700.01	700.01	700.01	700.01	700.01	700.01	700.01	682.13	636.66	578.77	530.53	502.62	454.76	189.39
180.00	700.01	700.01	700.01	700.01	700.01	700.01	700.01	700.01	684.22	603.64	553.52	524.39	474.45	238.73
220.00	700.01	700.01	700.01	700.01	700.01	700.01	700.01	700.01	694.64	631.50	578.86	548.39	496.17	249.09
														260.48

Bezugszeichenliste

- 65 100 Anlaßdiagnosezustand
 102 Startzustand
 104 Stoppzustand
 106 Geschwindigkeitssteuerzustand

108 Drehmomentsteuerzustand	
110 Abschaltzustand	
200 Kraftstoffsteuersystem	
202 "Kraftstoff zu Strom"-Tabelle	
204 Leitungskompensation	5
206 Addierer	
208 PI-Regler	
210 Addierer	
212 Stromsteuerung	
214 Schalter	10
218 Addierer	
220 Druckanpassung	
222 Elektronisches Steuermodul	
224 Motor	
226 Kraftstoffsignal	15
302 Brennraum	
304 Einlaßventil	
306 Injektor	
308 Kraftstoffleitung	
310 Unterer Plungerkolben	20
312 Oberer Plungerkolben	
314 Einspritzkammer	
316 Pumpe	
318 Gesteuertes lineares Betätigungsventil	
320 Drucksensor	25
322 Anschluß	
324 Motoreinlaßkrümmer	
326 Sensor	
402 Integrator	
404 Addierer	30
406 Addierer	
408 Multiplizierer	
410 Addierer	
412 Integrator	
414 Multiplizierer	35
510 Eingang	
512 Fehlerbegrenzer	
514 Integralverstärkungsmultiplizierer	
516 Proportionalverstärkungsmultiplizierer	
518 Addierer	40
520 Schalter	
522 Ausgang	
524 Geschwindigkeitsbegrenzer	
526 Addierer	
528 Begrenzer	45
530 Integrierer	

Patentansprüche

1. Kraftstoffsteuersystem (200) für einen Innenverbrennungsmotor (224) zur Zuführung von Kraftstoff zu einer Kraftstoffleitung (308) zur Verteilung an eine Vielzahl von Kraftstoffinjektoren (306), wobei das System (200) umfaßt:
 - ein Berechnungsmittel zur Aufnahme einer Vielzahl von Betriebszustandssignalen, die einen Betriebsstatus des Innenverbrennungsmotors (224) anzeigen, und zur Erzeugung eines Kraftstoffsignals (226), das eine gewünschte Menge an jedem der Kraftstoffinjektoren (306) zuzuführendem Kraftstoff darstellt, basierend auf den Betriebszustandssignalen;
 - ein erstes Umwandlungsmittel, das mit dem Berechnungsmittel zur Umwandlung des Kraftstoffsignals (226) in ein geschätztes Stromsignal für ein Betätigungsmittel verbunden ist;
 - ein Anpassungsmittel, das mit dem ersten Umwandlungsmittel und einem Ausgang (522) eines Proportional-Integral-Regler-Mittels zur Kombination eines von dem letzteren erhaltenen Abweichungs-Stromsignals mit dem geschätzten Stromsignal, um ein Stromsteuersignal für das Betätigungsorgan zu erzeugen, verbunden ist;
 - ein Betätigungsmittel, das mit dem Anpassungsmittel zur Aufnahme des Stromsteuersignals und zur Steuerung der Menge an der Kraftstoffleitung (308) zugeführtem Kraftstoff basierend auf dem Stromsteuersignal verbunden ist;
 - ein Druckdetektionsmittel, das mit der Kraftstoffleitung (308) zur Detektion eines Kraftstoffdrucks in der Kraftstoffleitung (308) und zur Erzeugung eines zu dem Kraftstoffdruck korrespondierenden Kraftstoffleitungsdrucksignals verbunden ist;

— ein zweites Umwandlungsmittel, das mit dem Druckdetektionsmittel zur Aufnahme des Kraftstoffleitungsdrucksignals und zur Umwandlung des Kraftstoffleitungsdrucksignals in ein geschätztes Kraftstoffmengensignal, das eine geschätzte aktuelle Kraftstoffzufuhrmenge zu einem der Injektoren (306) darstellt, verbunden ist; und

— ein Vergleichsmittel, das mit dem zweiten Umwandlungsmittel, dem Berechnungsmittel und dem Proportional-Integral-Regler-Mittel zur Erzeugung eines Kraftstoffmengenfehlersignals, das einer Differenz zwischen dem geschätzten Kraftstoffmengensignal und dem Kraftstoffsignal (226) entspricht, und zur Bereitstellung des Kraftstoffmengenfehlersignals für das Proportional-Integral-Regler-Mittel verbunden ist;

— wobei das Proportional-Integral-Regler-Mittel das Abweichungs-Stromsignal basierend auf dem Kraftstoffmengenfehlersignal erzeugt.

2. Verfahren zur Steuerung der Kraftstoffzuführung zu einem Motor mit mehreren Kraftstoffinjektoren, die an eine gemeinsame Kraftstoffleitung zur Versorgung mit Kraftstoff angeschlossen sind, wobei ein elektrisch angesteuertes Betätigungsmittel die Kraftstoffzufuhr zu der Kraftstoffleitung steuert, wobei basierend auf einem Kraftstoffsignal, das die gewünschte Menge an von jedem Injektor bei jedem Einspritzzyklus einzuspritzenden Kraftstoff darstellt, ein elektrisches Stromsignal zur Ansteuerung des Betätigungsmittels berechnet wird, wobei die Differenz zwischen dem Kraftstoffdruck in der Kraftstoffleitung und dem Druck in einem Ansaugkrümmer des Motors verwendet wird, um eine geschätzte Menge zu bestimmen, die die aktuelle Kraftstoffeinspritzmenge jedes Injektors bei jedem Einspritzzyklus darstellt, wobei die Differenz zwischen der geschätzten Menge und dem Kraftstoffsignal zur Korrektur des elektrischen Stromsignals in einer Rückkopplung verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein PI-Regler zur Bildung eines Regelkreises verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstärkung, vorzugsweise die proportionale Verstärkung und/oder die integrale Verstärkung, der Rückkopplung in Abhängigkeit vom Betriebszustand des Motors modifiziert wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß auch eine detektierte mittlere Motorgeschwindigkeit zur Bestimmung der geschätzten Menge verwendet wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 1

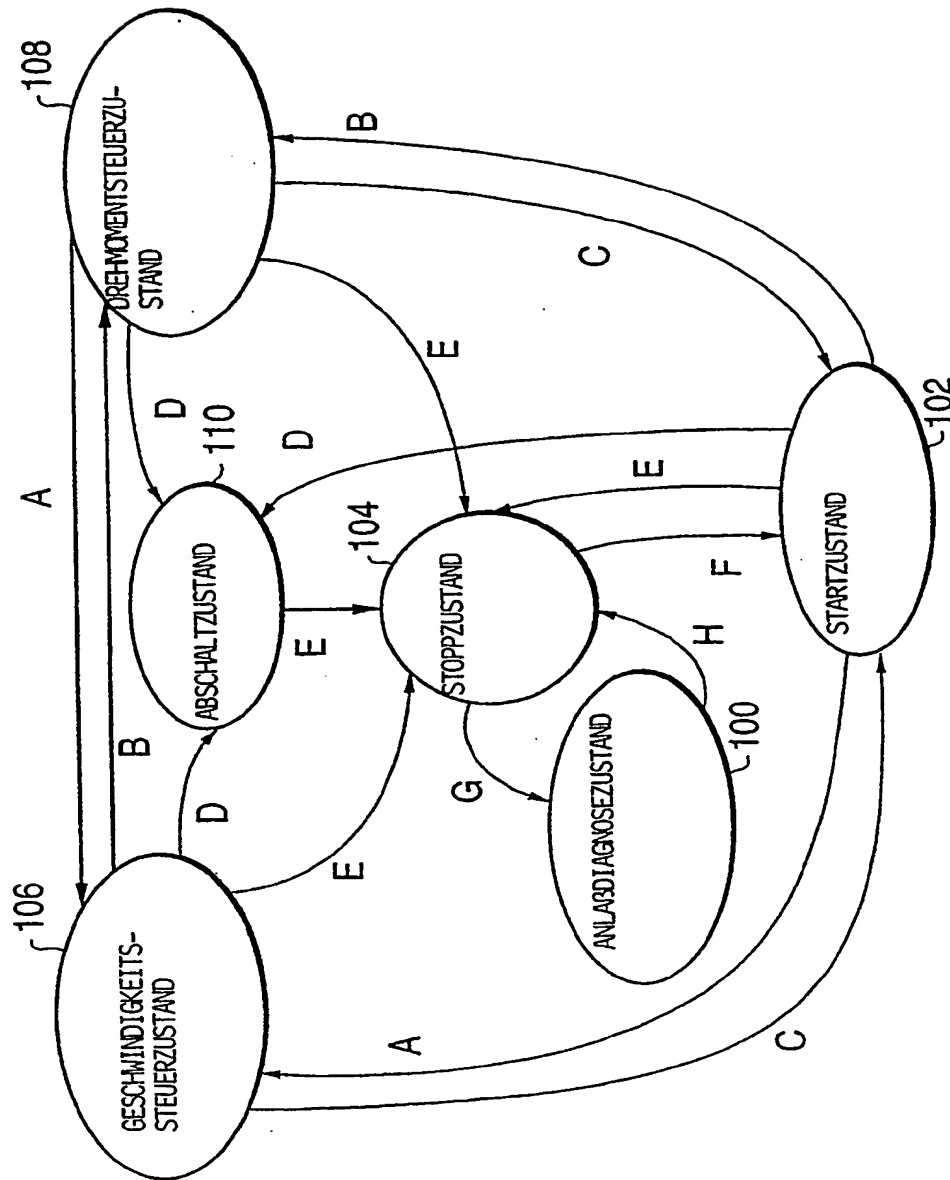


FIG. 2

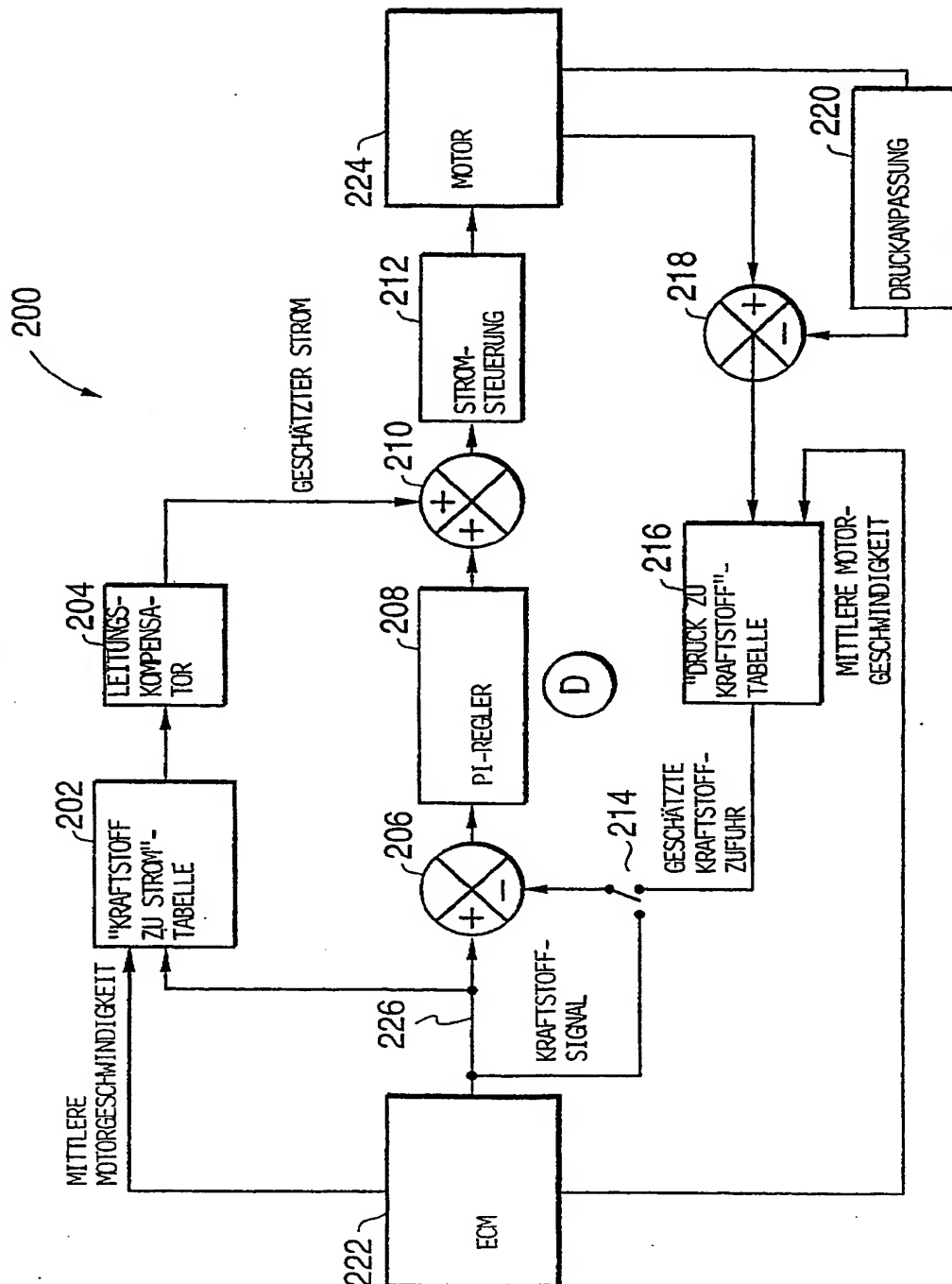


FIG. 3

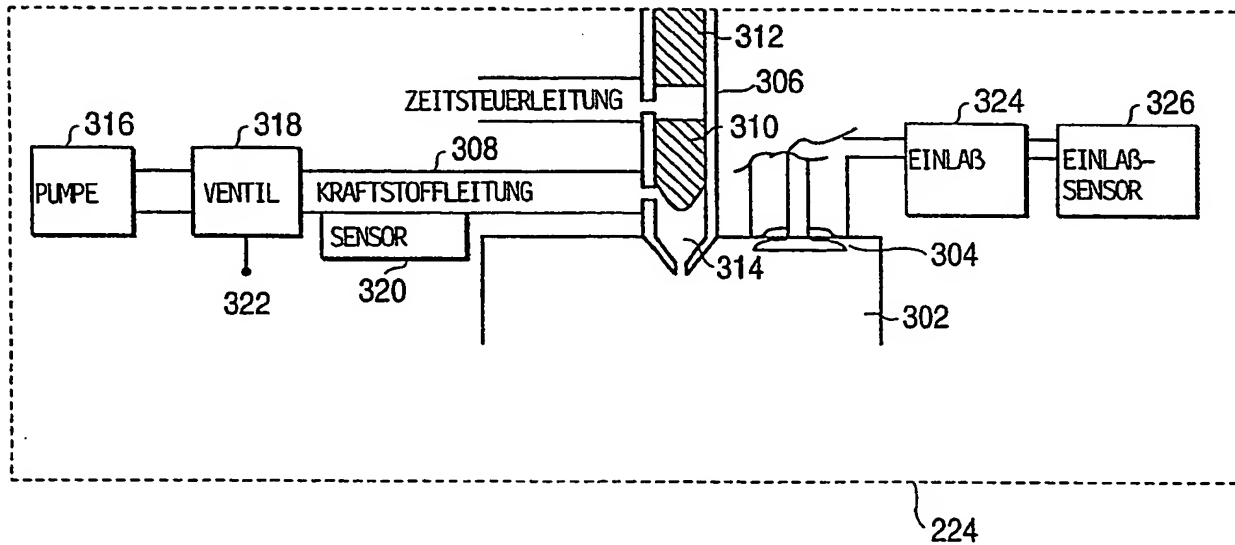


FIG. 4

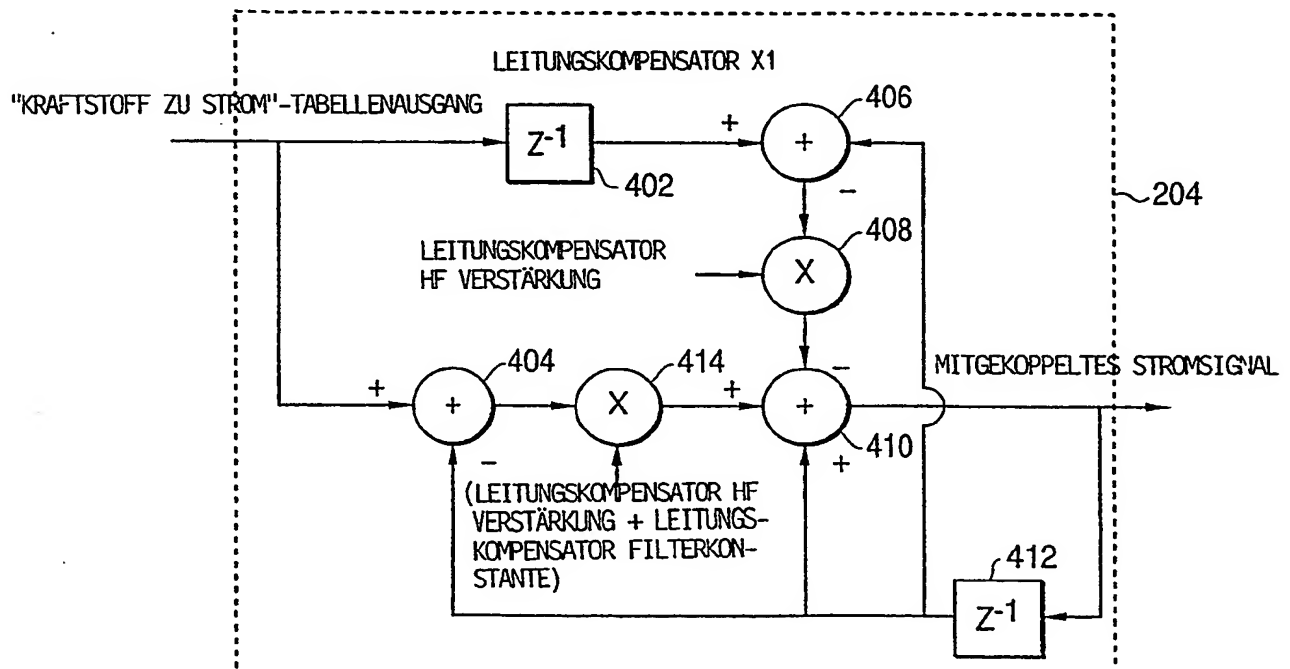
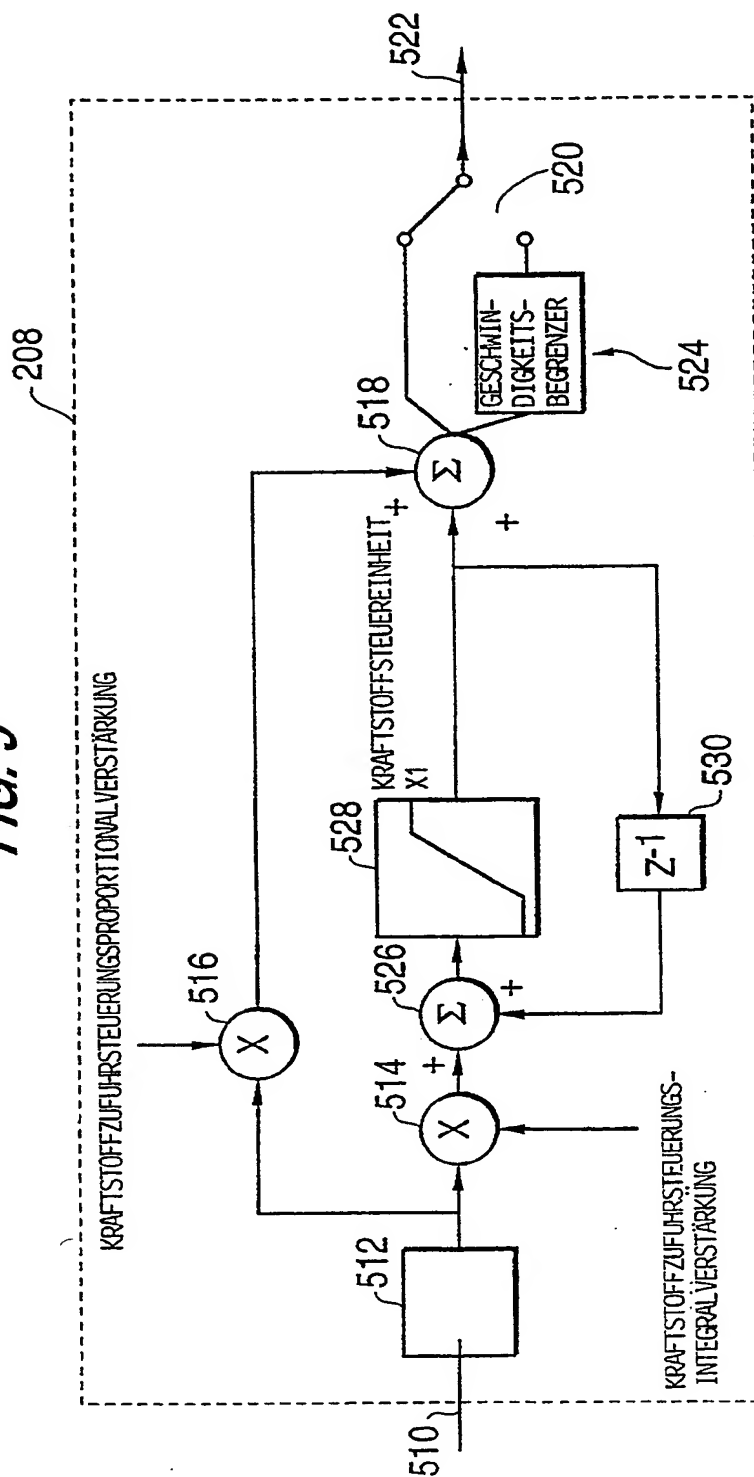


FIG. 5



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)